

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



**TESIS DE GRADO**  
**APLICACIÓN DE PROMOTORES NATURALES DE CRECIMIENTO**  
**EN EL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) COMO**  
**FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO**

**RUBEN SANTOS CALANI VARGAS**

**La Paz – Bolivia**

**2021**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

**APLICACIÓN DE PROMOTORES NATURALES DE CRECIMIENTO  
EN EL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) COMO  
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO**

Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para optar el Título de  
Ingeniero Agrónomo

**RUBEN SANTOS CALANI VARGAS**

**ASESORES:**

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta .....

Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado .....

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

Ing. M.Sc. Hugo Bosque Sanchez .....

Ing. M.Sc. Rafael Murillo Garcia .....

Ing. M.Sc. Bernardo Ticona Contreras .....

**Presidente tribunal examinador** .....

APROBADA

## *DEDICATORIA*

*El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres Miguel y Patricia que con todo su esfuerzo del día a día me brindan su constante apoyo para poder seguir adelante.*

*A mis hermanos Jenny, Richard y Brian por estar siempre ahí cuando los necesito, alegrándome los días.*

## *DEDICATORIA*

*A la memoria de mi gran amigo y hermano*

*David Ulloa Flores, estés donde  
estés gracias por todo, nos haces mucha falta.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a Dios y a mis padres Miguel Calani y Patricia Vargas, por haberme dado la vida, salud y educación.

A la Universidad Mayor de San Andrés y mis docentes a lo largo de la carrera por haberme formado académicamente.

A mi querida Estación Experimental Patacamaya, por haberme acogido durante todo el proceso de investigación.

A mis asesores Ing. Wilfredo Blanco e Ing. Marcelo Tarqui por sus consejos y apoyo durante el proceso de investigación.

A los miembros del tribunal revisor Ing. Hugo Bosque, Ing. Rafael Murillo, Ing. Bernardo Ticona, por sus consejos y aportes para la elaboración del presente documento.

A mis queridos amigos por su constante apoyo y palabras de aliento para poder finalizar el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Rolando Céspedes, por brindarme sus consejos, enseñanzas y apoyo incondicional durante el trabajo de investigación.

## CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
CONTENIDO GENERAL.....	vi
CONTENIDO DE FIGURAS.....	viii
CONTENIDO DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
SUMMARY .....	xii
1 INTRODUCCION.....	1
2 OBJETIVOS .....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos .....	2
3 REVISION BIBLIOGRAFICA .....	3
3.1 Hidroponía .....	3
3.2 Cultivo hidropónico.....	3
3.3 Forrajes.....	4
3.3.1 Tipos de forrajes, especies y uso.....	4
3.3.2 Cebada.....	5
3.4 Forraje verde hidropónico .....	5
3.5 Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico.....	8
3.5.1 Ventajas .....	8
3.5.2 Desventajas.....	10
3.6 Factores que influyen en la producción de Forraje Verde Hidropónico....	11
3.6.1 Densidad de siembra.....	11
3.6.2 Calidad de la semilla.....	11
3.6.2.2 Remojo y germinación de las semillas .....	12
3.6.3 Factores que influyen sobre la absorción de nutrientes. ....	12
3.7 Promotores de crecimiento .....	17
3.7.1 AUXINAS.....	17
3.7.2 Lenteja ( <i>Lens culinaris</i> ).....	21
3.7.3 Frejol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) .....	22

4	LOCALIZACION .....	22
5	MATERIALES Y METODOS.....	23
5.1	Materiales .....	23
5.1.1	Material genético .....	23
5.1.2	Material de campo .....	23
5.1.3	Materiales y equipos de gabinete .....	24
5.1.4	Insumos.....	24
5.2	Métodos.....	24
5.2.1	Adecuación de la carpa solar.....	24
5.2.2	Fase experimental.....	28
5.2.3	Diseño experimental.....	32
5.2.4	Croquis experimental.....	33
5.2.5	Variables de respuesta.....	34
6	REULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
6.1	Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo.....	38
6.2	Calidad de la semilla.....	39
6.3	Altura de planta.....	39
6.4	Rendimiento en materia seca por tratamiento.....	43
6.5	Rendimiento en materia verde.....	45
6.6	Contenido nutricional del forraje verde hidropónico.....	46
6.7	Análisis económico.....	48
7	Conclusiones.....	51
8	Recomendaciones.....	53
9	Bibliografía .....	54

## CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Ubicación de la Estación Experimental Patacamaya	23
FIGURA 2. Destechado del ambiente atemperado	25
FIGURA 3 Colocado de policarbonato	25
FIGURA 4. Tendido de la malla semi-sombra	26
FIGURA 5. Colocado de tanque.	26
FIGURA 6. Electrobomba de 1 hp	26
FIGURA 7 y 8. Micro aspersores instalados dentro del ambiente atemperado	27
FIGURA 9. Timer instalado, dentro del ambiente atemperado	27
FIGURA 10. Limpieza de impurezas de la semilla de cebada	28
FIGURA 11 Y 12. Medida de hipoclorito de sodio y desinfección de semilla	29
FIGURA 13. Remojo de semillas	29
FIGURA 14. Aireación de semillas	29
FIGURA 15 Muestra de semillas para prueba.	33
FIGURA 16. Semillas en prueba de germinacion	33
FIGURA 17. Medición de altura de planta	34
FIGURA 18. Muestras en mufla.	35
FIGURA 19. Muestras secas 72 hrs despues	35
FIGURA 20. Pesaje de muestras	36
FIGURA 21. Temperaturas registradas durante el estudio.	37
FIGURA 23. Comportamiento del cultivo en relación a la variable altura de planta	40
FIGURA 24. Comportamiento del cultivo en relación a la variable altura de planta después del primer corte.	42

## CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo	8
TABLA 2. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.	9
TABLA 3. Descripción de tratamientos.	32
TABLA 4. Croquis experimental	32
TABLA 5. Análisis de varianza para la variable altura de planta	39
TABLA 6. Test de Duncan para altura de planta.	39
TABLA 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta después del primer corte	41
TABLA 8. Test de Duncan altura de planta después al primer corte.	42
TABLA 9. Análisis de varianza para rendimiento de materia seca	43
TABLA 10. Prueba de Duncan para contenido de materia seca	44
TABLA 11. Análisis de varianza para el rendimiento de materia verde	45
TABLA 12. Prueba de Duncan para rendimiento en materia verde.	45
TABLA 13. Rendimientos por metro cuadrado	45
TABLA 14. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico	46
TABLA 15. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico en la cosecha final	47
TABLA 16. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico con la aplicación del promotor de crecimiento a base de lenteja (T1)	48
TABLA 17. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico con la aplicación del promotor de crecimiento a base de frejol (T2)	49
TABLA 18. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico del tratamiento testigo (T0)	50

# **APLICACIÓN DE PROMOTORES NATURALES DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) COMO FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO.**

**AUTOR:** Rubén Santos Calani Vargas

**ASESORES:** Ing. M.Sc. Wilfredo Blanco Villacorta  
Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado

## **RESUMEN**

El presente estudio fue realizado en la Estación Experimental Patacamaya, provincia Aroma del departamento de La Paz, con el objetivo de evaluar el efecto de dos promotores de crecimiento naturales en el ciclo de la cebada como forraje verde hidropónico, considerando para ello parámetros de respuesta los rendimientos de materia verde y seca, altura de planta en el ciclo de producción, así como el valor nutricional del forraje producido.

En el presente trabajo se utilizó semilla de cebada adquirida en la feria dominical de Patacamaya, el forraje verde hidropónico se realizó en estanterías metálicas de tres pisos, la semilla fue desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 1%, posteriormente lavada y se utilizó como guía el método planteado por la FAO, luego se procedió a sembrar en las bandejas 1.5 kg por cada una de ellas, seguidamente se inició la fase oscura que duro siete días, una vez finalizada esta fase se quitó el cobertor de nuestro módulo de producción para dejar ingresar la luz solar por los siguientes 12 días en promedio, pasado dicho lapso se realizó el corte de la parte verde para dejar crecer por otros 11 días de producción.

Para el riego se tecnifico el modulo para evitar de esta que el cultivo tenga perdidas por déficit hídrico, se realizó el riego cada dos horas por un minuto, con un total de siete riegos diarios con un gasto aproximado de 84 litros por día.

El análisis de los resultados concluye que; la prueba Duncan mostro diferencias estadísticas para la variable altura de planta con mejor respuesta el tratamiento uno (T1 = promotor de crecimiento de lenteja) con un promedio de 18.92 cm en el primer

corte en 17 días y 17.81 en la cosecha final en un lapso de 11 días. en cuanto al peso final o rendimiento el tratamiento uno (T1) mostro un peso de 6.18 kg al finalizar el ciclo, se realizó el análisis bromatológico mostrando los siguientes valores: fibra (%) 51.81, proteínas (%), carbohidratos (%) 25.31, La prueba Duncan demostró diferencias estadísticas dando el mayor porcentaje al tratamiento uno (T1) con un valor de 19.09% de MS. Los análisis de costos mostraron una proyección en la cual, con el tratamiento 1 se recuperaría la inversión realizada para el sexto ciclo productivo.

# **APPLICATION OF NATURAL GROWTH PROMOTERS IN THE CROP OF BARLEY (*Hordeum vulgare* L.) AS A HYDROPONIC GREEN FORAGE**

**AUTHOR:** Rubén Santos Calani Vargas

**ADVISERS:** Ing. M.Sc. Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado

## **SUMMARY**

The present study was carried out at the Patacamaya Experimental Station, Aroma province of the department of La Paz, with the objective of evaluating the effect of two natural growth promoters in the barley cycle as hydroponic green forage, considering response parameters the yields of green and dry matter, plant height in the production cycle, as well as the nutritional value of the forage produced.

In the present work, barley seed acquired at the Patacamaya Sunday fair was used, the hydroponic green forage was made on three-story metal shelves, the seed was disinfected with a 1% sodium hypochlorite solution, subsequently washed and used As a guide the method proposed by FAO, then we proceeded to sow 1.5 kg for each of them in the trays, then the dark phase that lasted seven days began, once this phase was finished, the cover of our production module was removed To allow sunlight to enter for the next 12 days on average, after that period the green part was cut to allow it to grow for another 11 days of production.

For irrigation, the module was technified to prevent the crop from having losses due to water deficit, irrigation was carried out every two hours for one minute, with a total of seven daily irrigations with an approximate expenditure of 84 liters per day.

The analysis of the results concludes that; The Duncan test showed statistical differences for the variable plant height with the best response in treatment one (T1 = lentil growth promoter) with an average of 18.92 cm in the first cut in 17 days and 17.81 in the final harvest in a period of 11 days. days. Regarding the final weight or performance, treatment one (T1) showed a weight of 6.18 kg at the end of the cycle, the bromatological analysis was carried out showing the following values: fiber (%) 51.81, proteins (%), carbohydrates (%) 25.31 The Duncan test showed statistical differences, giving the highest percentage to treatment one (T1) with a DM value of 19.09%. The cost analyzes showed a projection in which, with treatment 1, the investment made for the sixth production cycle would be recovered.

## 1 INTRODUCCION

El agricultor del Altiplano tiene la práctica agrícola el dejar en el campo sus cultivos forrajeros hasta su completa madurez fisiológica, para obtener su propia semilla, del mismo cultivo aprovecha la paja como base de la dieta de su ganado complementada con pastoreo y asigna una menor superficie de su propiedad para el cultivo exclusivos de forrajeras, además le resulta dificultosa y riesgosa la conservación de forrajes en forma de heno o ensilaje, debido a la ocurrencia de lluvias en la época de cosecha o segado, por los costos elevados en maquinaria y construcciones que requiere el ensilado, situación que es una limitante para el ganado, por la baja disponibilidad de forraje nutritivo.

El cambio climático en la actualidad es un fenómeno que genera un desorden climatológico mundial, que comienza a incidir en la fenología de los cultivos fundamentales de la seguridad alimentaria de cada país, ocasionando bajas o altas temperaturas, sequía, exceso de lluvia, fuera de su ciclo habitual, afectando a la vulnerabilidad socioeconómica.

Una forma de combatir estos efectos del cambio climático es el Forraje Verde Hidropónico (FVH) que consiste en la germinación de semillas de gramíneas o leguminosas, y posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Su uso se destina para la alimentación de bovinos, ovinos, caprinos, equinos, porcinos, conejos y aves.

El forraje verde hidropónico, es una nueva tecnología de producción de biomasa vegetal obtenido a partir del crecimiento inicial de las plantas, en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de granos viables.

La hidroponía o cultivo sin tierra, es una metodología productiva vegetal que mantiene sistemas de control balanceado. En las unidades de producción hidropónica, las plantas se desarrollan adecuadamente porque reciben una nutrición óptima y condiciones favorables para su desarrollo (ARUQUIPA, 2008)

Según RODRÍGUEZ, (2004), menciona que el Forraje Verde Hidropónico (FVH), es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas como cebada, avena, trigo, maíz y sorgo; que han crecido por un periodo de 9 a 15 días, logrando alcanzar una altura de 20 a 25 cm. Esto en función a las condiciones micro

climático en que se produce, tales como: luz, temperatura y humedad. El FVH o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal.

La producción de forraje hidropónico permitiría asegurar una fuente constante de alimento muy homogéneo en volumen de fitomasa y calidad nutritiva, mejorando la condición de salud, vitalidad y fertilidad del ganado atribuible a la alta calidad del alimento hidropónico (BRAVO, 2010).

El forraje hidropónico representa una alternativa de producción de forraje verde para la alimentación de bovinos, como también para otros animales de uso comercial, es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje.

Con la presente investigación, se pretende contribuir a incrementar el conocimiento científico técnico sobre la producción de FVH en la región del Altiplano, en ese sentido se pretende hacer una producción netamente orgánica, utilizando promotores de crecimiento extraídos de forma natural de especies como el frejol (*Phaseolus vulgaris*) y lenteja (*Lens culinaris*), esto con el fin de incrementar la cantidad proteínica del forraje, a su vez determinar la cantidad exacta de agua que debe aplicarse en el riego diario y el número de veces a regar por día.

Al ser parte de la familia de las leguminosas estas dos especies cuentan con un contenido alto de auxinas que se encuentran en gran mayoría en las partes en desarrollo, en este caso las raicillas. Las auxinas son las encargadas de la elongación celular y el desarrollo vegetativo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de dos promotores de crecimiento naturales en el ciclo de la cebada como forraje verde hidropónico.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento agronómico de la cebada como FVH con los promotores de crecimiento a base de lenteja (*Lens culinaris*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*).

- Conocer el contenido nutricional del forraje verde hidropónico por corte.
- Evaluar el rendimiento del Forraje Verde Hidropónico por tratamiento.
- Realizar el análisis económico.

### **3 REVISION BIBLIOGRAFICA**

#### **3.1 Hidroponía**

Douglas (1987) e Izquierdo (2000), citado por Delgado (2016), indican que el término "hidropónico" deriva de dos palabras griegas. Hydro = agua y Ponos = trabajo o cultivo, que al conjuncionarse significan trabajo en agua y es una alusión al empleo de agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra.

DELGADO (2016), define a la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo en su lugar utiliza un medio inerte, como grava, arena, turba, piedra pómez o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se los denomina a menudo "cultivos sin suelo", mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico

La hidroponía en general, es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la producción de hortalizas, forrajes, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, producción de algas y semillas certificadas, en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Cultivos Hidropónicos, 1992).

Con la producción hidropónica sin suelo, se puede obtener forrajes de excelente calidad y sanidad, y se asegura un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada productividad por planta (La Molina, 2000).

#### **3.2 Cultivo hidropónico**

El cultivo hidropónico o hidroponía es la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, usando un medio inerte, al cual se añade una solución de nutrientes que

contiene todos los elementos esenciales vitales para la planta en su normal desarrollo.

Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo se les denomina a menudo “cultivo sin suelo”, mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico (RODRIGUEZ, 2001).

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz – sorgo avena - alfalfa) que se utiliza durante un periodo de 9 a 15 días, captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva. Se utilizan técnicas de Hidroponía sin ningún sustrato. El grano germinado alcanza una altura promedio de 25 centímetros, el animal consume la parte aérea formada por tallo y las hojas verdes, los restos de la semilla y la raíz (DURAN F. , 2009).

### **3.3 Forrajes**

Se denomina forraje a la planta, praterse o temporal, que se corta y se suministra a los animales en el establo, junto con los pastos constituyen los alimentos voluminosos. Se llaman alimentos voluminosos aquellos que contengan más del 18% de fibra bruta; los alimentos voluminosos comprenden los pastos, forrajes y otros subproductos vegetales, se caracterizan por su riqueza en celulosa, hemicelulosa y lignina, también contienen alta cantidad de azúcares (BOADA, Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Pecuaria. Ed. Universitaria. Habana, Cuba. Tomo 1., 1998).

Los cultivos hidropónicos también se emplean para la producción de forraje y alimento a partir de semillas de trigo, cebada y maíz, principalmente, para aves y animales herbívoros en granjas y zoológicos (CALDERON, 2001).

#### **3.3.1 Tipos de forrajes, especies y uso**

Los suelos del Altiplano están erosionados en diferentes grados y las estimaciones existentes del área afectada oscilan entre 30 y 80%, dependiendo de la severidad

del proceso. De hecho, en algunas áreas han evolucionado dunas de arena debido al sobre uso o mal uso del suelo (Valdivia, 1998).

Independientemente de la localidad, las pasturas nativas del Altiplano son de bajo valor nutritivo, tienen baja capacidad de carga y solamente los camélidos nativos prosperan y están completamente adaptados. Cuando las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua suplementaria lo permiten, se siembran otras especies para suplementar la dieta de bovinos y ovinos. Este es particularmente el caso del norte del Altiplano, en el área de influencia del lago Titicaca, donde especies introducidas como alfalfa (*Medicago sativa*), festuca (*Festuca arundinacea*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), son relativamente comunes (Valdivia, 1998).

### **3.3.2 Cebada**

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es un cereal altamente recomendable, dada sus excelentes propiedades terapéuticas y nutricionales, sobre todo en primavera-verano. Con esta aseveración se quiere decir, que se suele ensalzar los beneficios del arroz, por ser el cereal más equilibrado, del maíz por su gran aporte energético o de la quinoa (aunque no sea un cereal) por su ligereza y digestibilidad, pero se suele a menudo olvidar la cebada.

El contenido proteico es de gran importancia, dado que tanto humanos cuanto animal, utilizan estos aminoácidos para formar sus propias proteínas y como fuente de energía. Comparados con casi cualquier proteína animal, la proteína de los granos de cereal tiene bajo contenido de lisina, mientras que las semillas de leguminosas tienen bajo contenido de metionina (SALISBURY, 1994).

### **3.4 Forraje verde hidropónico**

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “Green fodder hydroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal (FAO, Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico. Santiago - Chile. 68 p, 2001).

El proceso de producción del forraje verde hidropónico está comprendido dentro de un concepto nuevo de producción, ya que no se requiere grandes extensiones de tierras, periodos largos de producción ni formas de conservación y almacenamiento. El forraje verde hidropónico es destinado para la alimentación de cuyes, vacas lecheras, caballos de paso y de carreras, ovinos, conejos (AQUINO, 2010).

Para la producción de FVH es necesario tener en cuenta variables ambientales y una buena selección de las semillas o granos que logren la germinación y la obtención de un producto óptimo y a bajo costo para la alimentación de los animales (SANCHEZ, 2005).

Según Corona (2011) establece que este procedimiento permite la producción intensiva de forraje fresco para animales de trabajo o engorda (ya sean vacas, caballos, cerdos, borregos, conejos, cuyos, gallinas.), que maximiza el aprovechamiento de espacio y de recursos, con muy buenos resultados. Se sabe que en 1 metro cuadrado es suficiente para producir 352 kilogramos aprox. peso húmedo por día de forraje. (Este valor corresponde a la producción en condiciones de humedad y temperatura estables).

En la práctica, el Forraje Verde Hidropónico (FVH) consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (SANCHEZ, 2005).

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, cebada, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional (IZQUIERDO, 2001).

Como el cultivo de forraje hidropónico es un cultivo de raíz desnuda, es decir, sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una alta humedad relativa, por encima del 85%. Esta humedad se consigue con la aplicación frecuente de riego y la evapotranspiración de las plantas. (RODRIGUEZ, 2001)

El forraje verde producido por hidroponía es palatable, para los animales y con niveles óptimos en energía, vitaminas y minerales. Su calidad general es muy alta, los vacunos de leche, o de carne en particular responden bien a la digestibilidad y valor nutritivo mayores; el pasto producido hidropónicamente reemplaza parte o todo el alimento, al ensilaje y otros productos suplementos que son utilizados por los ganaderos, pero como guía general, la ingestión mínima de pasto fresco no debe ser menos de 1,5 Kg/100 Kg de peso del animal ni debe exceder 50% de ingestión de materia seca, considerando que complementado con un alimento valioso y de alto contenido de fibra, el aprovechamiento de forraje será mejor. Además, no hay duda el uso adecuado de la cebada hidropónica puede ayudar a controlar los costos de alimentación de hatos lecheros y de carne. (CORONA, 2011)

La FAO (2001), menciona, que el forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal, obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas, en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas, a partir de semillas viables. El forraje verde hidropónico es de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal.

Por Forraje Verde Hidropónico (FVH), se entiende al resultado del proceso de germinación de granos, por lo general de cereales (cebada, avena, trigo, maíz, etc.), que se realiza durante un periodo de 8 a 15 días, captando energía del sol y asimilando los minerales disueltos de una solución nutritiva. La producción de granos germinados está considerada como un sistema hidropónico, debido a que este se realiza sin suelo, lo que permite producir a partir de granos colocadas en bandejas, una masa forrajera de alto valor nutritivo, consumible al 100%, con una digestibilidad de hasta 90%, limpia y libre de contaminaciones. El sistema hidropónico, está considerado como un concepto nuevo de producción, ya que para

este no se requiere de grandes extensiones de tierra, periodos largos de producción, ni formas de conservación y almacenamiento. (TARRILLO, 2005).

### **3.5 Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico**

#### **3.5.1 Ventajas**

La FAO (2001) indica que las ventajas son:

##### **a) Ahorro de agua**

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca (Cuadro 3). Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18% (Sánchez, 1997; Lomelí Zúñiga, 2000; Rodríguez, S. 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

**TABLA 1. Gasto de agua para producción de forraje en condiciones de campo**

<b>Especie</b>	<b>Litros de agua / kg materia seca (promedio de 5 años)</b>
Avena	635
Cebada	521
Trigo	505
Maíz	372
Sorgo	271

Fuente: Carámbula, M. y Terra, J. 2000.

Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hayan observado y se observen generalmente en países con eco zonas desérticas, a la vez que vuelve atractiva la alternativa de

producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive, de agua potable para el consumo.

#### **b) Eficiencia en el uso del espacio**

El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical que optimiza el uso del espacio útil.

#### **c) Eficiencia en el tiempo de producción**

La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH. (HIDALGO, 1985)

#### **d) Calidad del forraje para los animales**

El FVH es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales. Su alto valor nutritivo (Cuadros 2 y 3) obtiene debido a la germinación de los granos. (Bravo, 1988).

En general el grano contiene una energía digestible superior (3.300kcal/kg) que el FVH (3.200kcal/kg). Sin embargo, los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables. En el caso particular de la cebada (Cuadro 3) el FVH se aproxima a los valores encontrados para el concentrado especialmente por su alto valor energético y apropiado nivel de digestibilidad.

**TABLA 2. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.**

<b>Parámetro</b>	<b>FVH (Cebada)</b>	<b>Concentrado</b>	<b>Heno</b>	<b>Paja</b>
<b>Energía (kcal/kg MS)</b>	3.216	3.000	1,680	1,392
<b>Proteína Cruda (%)</b>	25	30,0	9,2	3,7
<b>Digestibilidad (%)</b>	81,6	80	47,0	39,0
<b>Kcal Digestible/kg</b>	488	2,160	400	466
<b>Kg Proteína Digestible/Tm</b>	46,5	216	35,75	12,41

Fuente: (SEPÚLVEDA, 2003)

### **e) Inocuidad**

El FVH asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente “cornezuelo” que aparece usualmente en el centeno, el cual cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la trágica consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre. (SÁNCHEZ, Hidroponía; Paso a Paso-Cultivo sin tierra. Ed. RIPALME Lima, Perú., 2004)

### **3.5.2 Desventajas**

Las principales desventajas identificadas en un sistema de producción de FVH son:

- Desinformación y sobre valoración de la tecnología.
- Costo de instalación elevado.
- Requiere cierto conocimiento técnico de fisiología vegetal y química inorgánica.
- No aplicar correctamente el procedimiento técnico (luz, temperatura, humedad.).

- No se recupera la semilla

### **3.6 Factores que influyen en la producción de Forraje Verde Hidropónico**

#### **3.6.1 Densidad de siembra**

Según IZQUIERDO (2001), citado por QUISPE (2013), Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2 a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 centímetros de altura en la bandeja Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pregerminadas.

Según Ramírez (2001), indica que la dosis exacta es de 3 kilos de semilla por metro cuadrado, distribuidos uniformemente, el ambiente debe tener una humedad del 80%.

La FAO (2001), indica que la densidad de siembra adecuada para tener un rendimiento óptimo de forraje hidropónico es de 5 kg de semilla por metro cuadrado, con una temperatura que oscila entre 16 a 20 °C y una humedad relativa de 85 %.

#### **3.6.2 Calidad de la semilla**

La FAO (2001)) citado por QUISPE (2013), indica que el éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH.

##### **3.6.2.1 Lavado y desinfección de semilla**

DURAN, (2009) reporta que se debe inundar el grano en un tanque o recipiente, con el fin de retirar todo el material que flote, como lanas, basuras, granos partidos y cualquier otro tipo de impurezas.

El mismo autor indica que con la finalidad de eliminar patógenos como hongos, bacterias y contaminantes se aconseja lavar y desinfectar la semilla con una solución de hipoclorito de sodio al 1 %, durante un tiempo no menor a 3 segundos

y no mayor a 30 minutos, ya que podría afectar la viabilidad, posteriormente se debe enjuagar la semilla con agua limpia.

### **3.6.2.2 Remojo y germinación de las semillas**

La FAO (2001), señala que este paso consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un periodo no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Transcurridas 12 horas se procede a secarlas y orearlas durante 1 hora para luego sumergirlas nuevamente 12 horas y finalmente realizarles el último oreado. Con lo anterior se induce la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión. Tal actividad nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH.

### **3.6.2.3 Semilla seleccionada**

CASAS, (2008) dice que, ante todo se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos. El mismo autor indica que la humedad de la semilla debe estar en un 12% y debe haber tenido un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica.

Las especies más empleadas son el maíz, cebada, sorgo y últimamente se está experimentando con arroz.

### **3.6.2.4 Rendimiento**

Navarrete (2008), menciona que la producción de granos germinados para su uso forrajero bajo control de temperatura y humedad relativa alcanza un rendimiento de 10 a 12 veces el peso de la semilla en pasto fresco y una altura de 20 cm aproximadamente en un periodo de 10 a 15 días.

## **3.6.3 Factores que influyen sobre la absorción de nutrientes.**

### **3.6.3.1 Temperatura.**

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, esto implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma el rango de temperatura está entre los 15 - 28 °C, la temperatura óptima es de 23 °C, aunque esto depende de la especie utilizada y de sus requerimientos. Un exceso de

temperatura puede causar hongos, y una temperatura baja retarda el crecimiento (Morales, 2013)

En general, un aumento en la temperatura repercute en una aceleración de la absorción de sales. Sin embargo, la influencia de la temperatura sobre esta absorción se ve reducida a unos límites relativamente estrechos. Un aumento de la temperatura por encima de un máximo, en lugar de acelerar la absorción salina inhibirá y acabará anulando el proceso. Con mayor probabilidad, los efectos inhibidores de las altas temperaturas son debidos a la deshidratación de las enzimas que repercute, ya sea directamente, sobre la absorción salina, ya sea sobre la síntesis de algún componente indispensable para dicha absorción (Devlin, 2009).

La difusión del agua a través de una membrana esta en razón directa de la temperatura; por ello, se ha considerado que un suelo muy frio es un suelo fisiológicamente seco (Rovaló, 1993).

Para la producción de FVH la temperatura de la solución de nutrición no debe ser ni muy alta, ni muy baja, encontrándose en el rango de 10 – 15°C (Matos, 1996).

El rango de la temperatura ambiental ideal para el cultivo de forraje verde hidropónico es de 21 – 24°C (Sholto, 1990).

### **3.6.3.2 pH**

Se presentan efectos marcados del pH cuando se inhibe la disponibilidad de los iones. Sin embargo, si la concentración de un ion es suficiente alta, será difícil que se presente una diferencia de este ion en aquella planta, dentro de los límites fisiológicos de los valores de pH. Naturalmente en valores de pH fuera de los límites fisiológicos; el daño causado a los tejidos de la planta y los transportadores acabara inhibiendo la absorción salina (Devlin, 2009).

La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH entre 6 a 7, como pH óptimo para absorción de nutrientes (Resh, 1992). La cebada tiene un óptimo entre 6 a 7,2 siendo su límite de tolerancia inferior 5,2. Para Fossati, el rango se encuentra entre 7 a 7,5.

### **3.6.3.3 Humedad en el Ambiente**

Castilla (2005), indica que la humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, en condiciones adecuadas de suministro hídrico y en ausencia de problemas de salinidad, puede ocurrir que, en condiciones de muy alta demanda evaporativa coincidentes con baja humedad o con dificultades de suministro hídrico desde las raíces.

La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior al 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos, una excesiva ventilación provoca la desecación de las semillas y disminución de la producción de FVH (FAO, 2001)

Gutiérrez et al., (2000), manifiestan que es de gran importancia que la humedad del ambiente sea superior al 80%, puesto que esta ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las estomas, en caso de no existir suficiente humedad en el ambiente, no sería posible la absorción de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto no tendría lugar la asimilación.

La humedad relativa del módulo hidropónico no debe ser inferior al 90%, valores superiores carentes de ventilación causan problemas fitosanitarios fungosas difíciles de combatir y eliminar e incrementar los costos operativos, excesiva ventilación deseca el ambiente y disminución significativamente la producción por deshidratación (Izquierdo, 2001).

El cuidado de la humedad en el interior del recinto de producción es muy importante, la humedad relativa no puede ser inferior a 90%. Valores superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos (FAO 2002, citado por Matilla 2003)

### **3.6.3.4 Iluminación**

Según Palomino (2008), que al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que,

hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue, pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. La radiación solar es importante para el crecimiento vegetal, a la vez que estimula la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Howard, 1997).

La FAO (2001), señala que, si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

La radiación solar es básica en el crecimiento vegetal, promotora de la síntesis en compuestos (Vitaminas), vitales en la alimentación animal, la presencia de luz en la germinación de las semillas no es recomendable hasta el tercer o cuarto día de siembra en las bandejas, la luz del ambiente debe ser muy oscuro para el desarrollo de las raíces. (Izquierdo, 2001).

La exposición de las bandejas con semillas germinadas a la exposición directa de la luz del sol, trae consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento de las hojas, quemaduras de las hojas), en los últimos días de cultivo, se expone las bandejas con forraje a la acción de la luz, para que obtengan su color verde y complete su riqueza nutricional. (Caballero, 1998).

Una intensidad de luz, especialmente regulada puede generar en las plantas cultivadas un acortamiento del ciclo biológico, equilibrado desarrollo vegetativo y una elevada producción. En caso de que sea necesario reducir la iluminación se podrán recubrir los vidrios con esteras, cañizos, sacos o dar calor al invernadero con leche de cal diversamente coloreada. (IZQUIERDO, 2001)

Terry y Chang, en las memorias del “Curso de Cultivos Hidropónicos” realizado en La Molina en 1995, indican que para producir el FVH en forma óptima, es necesario tener un ambiente disponible, donde exista buena luminosidad solar, para facilitar

el proceso de fotosíntesis y por consiguiente, el buen crecimiento de las plantas. También, se podrían producir el FVH dentro de habitaciones, pero para ello se requiere mayor luminosidad y se tendría que recurrir a la luz artificial, lo que nos llevaría a incrementar costos.

### **3.6.3.5 Riego**

El riego puede realizarse en forma automática o en forma manual. Cuando el riego es automático se requiere una bomba, un tanque de almacenamiento, tuberías de distribución, ya sea para regar por micro aspersores o nebulizadores. Cuando no hay recursos se hará con una manguera o con un balde con hoyos en el fondo. Se hace con una frecuencia de 5 a 8 riegos diarios, (PÉREZ 1999).

Para esta labor se realizarán riegos permanentes a lo largo de todo el día por medio de un sistema de riego, para lo cual la dosis adecuada está alrededor de 0,5 lt por m<sup>2</sup> (4 primeros días) hasta llegar a 1 y 1,5 lts por m<sup>2</sup>, IZQUIERDO, (2001).

### **3.6.3.6 Calidad del Agua de Riego**

Ramos (1999), señala que la calidad de agua no puede ser descuidada, un experimento en Uruguay indica que la utilización de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo., establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a:

- Contenido en sales y elementos Fito tóxicos (sodio, cloro y boro).
- Contenido de microorganismos patógenos.
- Concentración de metales pesados.
- Concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.

Según Palomino (2008), la procedencia del agua puede ser de pozo, lluvia o agua corriente de cañerías. Si el uso de agua no es potable se tendrá problemas fitosanitarios, nutricionales en el forraje hidropónico. Con el sistema hidropónico de producción de forrajes en base a cereales se han reportado ahorros entre 50% a

70% de agua en comparación a cultivos no hidropónicos, también una relación semilla/producción de 1 a 9 kg de forraje fresco.

### **3.7 Promotores de crecimiento**

El desarrollo normal de una planta depende de la interacción de factores externos (luz, nutrientes, agua y temperatura.) e internos (hormonas).

Una hormona es considerada cualquier producto químico de naturaleza orgánica que sirve de mensajero químico, ya que producido en una parte de la planta tiene como "blanco" otra parte de ella.

Las fitohormonas son las hormonas que poseen las plantas, existen cinco tipos presentes en ellas: las auxinas, las giberelinas, el ácido abscísico, el etileno y las citoquininas.

El nombre auxina significa en griego “crecer” y es dado a un grupo de compuestos que estimulan la elongación. El ácido indolacético (IAA) es la forma predominante, sin embargo, evidencia reciente sugiere que existen otras auxinas indólicas naturales en plantas. Aunque la auxina se encuentra en toda la planta, las más altas concentraciones se localizan en las regiones meristemáticas en crecimiento activo. Se le encuentra tanto como molécula libre o en formas conjugadas inactivas. Cuando se encuentran conjugadas, la auxina se encuentra metabólicamente unida a otros compuestos de bajo peso molecular. Este proceso parece ser reversible. La concentración de auxina libre en plantas varía de 1 a 100 mg/kg peso fresco Benzack, (2012)

#### **3.7.1 AUXINAS**

Uno de los ensayos más antiguos sobre crecimiento vegetal implicó estudios sobre la biología y mecanismos de acción de las auxinas, las primeras hormonas vegetales en ser descubiertas. El primer indicio de su existencia se derivó de experimentos realizados por Darwin quien analizó los efectos de una sustancia hipotética presente en el ápice de coleoptilos de avena sobre el crecimiento de plántulas hacia una señal de luz (El coleoptilo corresponde a una estructura “tubular” semejante a una hoja hueca que envuelve y protege a la plúmula durante los

primeros estados de desarrollo en gramíneas. Sus células crecen sólo por elongación). Más tarde los ensayos de Boysen-Jensen (en 1913) y Paál (en 1919) también en coleoptilos, llevaron a postular la presencia de sustancias que serían transportadas de forma polarizada desde el ápice del coleoptilo hacia la base de éste para provocar la respuesta fototrópica de la planta. Estas pruebas culminaron con los experimentos de Fritz Went en 1926, quien aisló esta “sustancia promotora de crecimiento” desde los ápices, la transfirió a trozos de agar y la aplicó de esta manera a coleoptilos decapitados induciendo la curvatura en respuesta al posicionamiento de la auxina, sin mediar una señal lumínica. El término auxina, proviene del griego “auxein” significa “crecer”, que fue aplicado pocos años después por Kögl y Haagen-Smith al examinar una sustancia promotora de crecimiento vegetal presente en orina humana, pero de estructura diferente a la hormona vegetal. La hormona vegetal fue luego aislada desde maíz y hongos e identificada más tarde como ácido indol-3acético (THIMANN., 1977).

Las auxinas son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo y crecimiento de plantas. La forma predominante en las plantas es el ácido indolacético (IAA), muy activo en bioensayos y presente comúnmente en concentraciones nanomolares. Otras formas naturales de auxinas son el ácido 4-cloro-indolacético (4-CIAA), ácido fenilacético (PAA), ácido indol butírico (IBA) y el ácido indol propiónico. (COHEN. L.-M. , 2002)

### **3.7.1.1 Efectos fisiológicos de las auxinas**

**Crecimiento y formación de raíces.** Debido a que las auxinas influyen tanto la división, como el crecimiento y diferenciación celular, están involucradas en muchos procesos del desarrollo, en algunos de ellos interactuando con otras fitohormonas. Diversos bioensayos han sido descritos para analizar respuestas a auxinas, los cuales han sido útiles en la identificación de compuestos con actividad típica de auxinas y de plantas mutantes con defectos en la síntesis, metabolismo o respuestas a auxinas. Uno de los ensayos que caracterizan el efecto de auxinas en el desarrollo es la regulación del crecimiento radicular el cual es definido desde el desarrollo embrionario (JENIK, 2005).

Mientras las auxinas estimulan el crecimiento de los tallos y coleoptilos, inhiben el crecimiento de la raíz primaria, pero estimulan la formación de raíces secundarias. La concentración óptima para el promover la elongación de tallos es entre  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$  M, sin embargo, en raíces esta concentración es muy alta y retarda su crecimiento. Las auxinas además promueven la biosíntesis de la hormona etileno que inhibe el crecimiento radicular. Niveles menores a  $10^{-9}$  M de IAA serían capaces de inducir crecimiento de raíz, pero no ocurriría a niveles normales endógeno más altos. (Azcon, 2000)

**Regulación de tropismos.** Mientras el crecimiento puede ser definido como un proceso irreversible derivado de la elongación celular, los tropismos son movimientos de crecimiento direccionales en respuesta a un estímulo también direccional. El efecto que tienen las auxinas sobre el crecimiento de tallos y raíces es importante para controlar los tropismos. Estas respuestas se concretan con curvaturas, giros o inclinaciones que realizan los tallos y raíces hacia un estímulo de luz (fototropismo), de gravedad (geotropismo o gravitropismo), o de contacto (tigmotropismo). Estos crecimientos direccionales se explican con el modelo clásico de Cholodny-Went, el cual describe que una distribución lateral diferencial de auxina en el tallo o raíz es responsable del crecimiento diferencial del órgano. En el caso del fototropismo, la auxina que se produce en el ápice, en vez de ser transportada hacia la base, es transportada lateralmente hacia el lado sombreado. Asimismo, se han encontrado varias proteínas que actuarían como receptoras para el fototropismo (fototropinas). (ESMON., 2005)

De forma similar, el mismo modelo se puede aplicar para explicar las respuestas de tallos y raíces a la gravedad. Durante la respuesta geotrópica, si una planta en crecimiento se coloca de lado, el tallo tiende a curvarse hacia arriba y las raíces hacia el suelo. Cuando la planta está en posición horizontal, la fuerza de la gravedad hace que la auxina se distribuya mayormente en la parte inferior del tallo o raíz. Mientras en el tallo las auxinas estimulan el crecimiento de la parte inferior (ocasionando una curvatura hacia arriba), en raíces un mayor nivel de la hormona inhibe el alargamiento de las células, por lo tanto, las de la cara superior se alargan

más y la raíz se curva hacia abajo. Esta redistribución de auxina en la raíz podría deberse a la percepción de la gravedad por algunas células que se localizan en el casquete, caliptra o cofia (Hou et al. 2004).

**Abscisión de órganos.** Las auxinas tienen un efecto general negativo sobre la abscisión de los órganos, retardando especialmente la caída de hojas, flores y frutos jóvenes. El movimiento de la auxina fuera de la lámina foliar hacia la base del pecíolo parece prevenir la abscisión inhibiendo la acción de la hormona etileno, principal efector de la formación de la zona de abscisión. Cuando los tejidos foliares envejecen, la producción de auxinas decrece, dando paso así a la acción del etileno y progresión de la abscisión. Sin embargo, también se han descrito casos en que aplicaciones de auxina exógena en el lado opuesto de la zona de abscisión (cerca al tallo) acelerarían el efecto del etileno sobre la abscisión (STEAD, 1997).

### 3.7.1.2 Mecanismos de acción

**Crecimiento y elongación celular.** Las auxinas promueven el crecimiento de las plantas principalmente por un aumento de la expansión celular. De acuerdo con la hipótesis del “efecto ácido” sobre el crecimiento, las auxinas estimulan la actividad de la bomba de protones ( $H^+$ -ATPasa) localizada en la membrana plasmática a través de dos mecanismos: activación de las bombas preexistentes y por inducción de síntesis de nuevas  $H^+$ -ATPasas. La extracción de protones hacia la pared celular genera una reducción del pH (acidificación) lo que a su vez activaría proteínas que rompen enlaces de hidrógeno entre los constituyentes de la pared. Los candidatos más probables para este papel inicial son las expansivas proteínas de pared que favorecerían inicialmente a la plasticidad de la célula. Otras enzimas hidrolíticas actuarían posteriormente y la célula crecería como resultado de la presión de turgor generada por la vacuola y por el depósito de nuevos materiales, cuya síntesis y transporte también parecen ser regulados por auxinas. Las auxinas también inducen la síntesis de giberelinas, hormonas que promueven el crecimiento del tallo, por lo que las auxinas también estimularían el crecimiento en forma indirecta (HAGER, 2003)

**Receptores de auxinas.** Por muchos años la búsqueda de receptores para auxinas se ha basado en el estudio respuestas características como la elongación de coleoptilos y la inducción de raíces o tallos regulado por el balance auxinas y citocininas. Extractos de distintas especies han sido usados para obtener fraccionamientos sub-celulares en búsqueda de proteínas capaces de unir IAA y auxinas sintéticas (Jones 1994). Proteínas candidatas han sido distinguidas en fracciones de membrana, de retículo endoplásmico y citoplásmicas. Una de ellas, ABP1 (por auxin binding protein) fue por algún tiempo considerada como un posible receptor, debido a que plantas que carecían de ella perecían. Sin embargo, ABP1 no se asemeja a otros receptores hormonales y no cumple con regular múltiples genes afectados por auxina, ni explicar todos los efectos causados por la hormona. Por su localización en retículo endoplásmico ABP1 podría estar involucrada en conjugación o transporte intracelular de auxina. Sin embargo, analizando mutantes de respuesta a auxina, recientemente se logrado identificar una proteína, TIR1, como el receptor de auxina. TIR1 es una proteína del tipo “caja F”, que se une a reguladores transcripcionales AUX/IAA que reprimen genes que responden a auxina y los marca para ser ubiquitinados y luego degradados por el proteasoma 26S. La unión de auxina a TIR1 activaría su interacción con AUX/IAA incitando la degradación de estos represores. En Arabidopsis existirían otras 4 proteínas “caja F” que cumplirían función similar a TIR1 y entre todas gobernarían las señales de auxinas. (DHARMASIRI, 2005).

### **3.7.2 Lenteja (*Lens culinaris*)**

La lenteja, es una planta anual herbácea de la familia fabáceas o leguminosas, con tallos de 30 a 40 cm, endebles, ramosos y estriados, hojas oblongas, estípulas lanceoladas, zarcillos poco arrollados, flores blancas con venas moradas, sobre un pedúnculo axilar, y fruto en vaina pequeña, con dos o tres semillas pardas en forma de disco de medio centímetro de diámetro aproximadamente (VILLACIS, 1991)

La lenteja es uno de los más ricos y nutritivos alimentos, que se aproxima mucho a los alimentos completos, representado en 55 % de almidón, 25 % de proteínas y

algunas grasas, fosfatos y cloruros. En hierro, por ejemplo, contiene cerca de 8 miligramos por kilo. (BERMEO, 2013)

Una característica de la lenteja y todas las leguminosas es la presencia en las raíces de unos nódulos que encierran bacterias del género *Rhizobium*, capaces de transformar el nitrógeno atmosférico. Por ello, las leguminosas son ricas en proteínas, nutriente que contiene moléculas de nitrógeno en su composición. (infojardin.com)

Las auxinas son producidas por semillas en crecimiento y se difunden de célula en célula se mueven hacia abajo por el floema juntamente con los azúcares y otros compuestos orgánicos. (SANCHEZ., 2009).

### **3.7.3 Frejol (*Phaseolus vulgaris*)**

Dentro del grupo de las leguminosas que poseen semillas comestibles, el frijol común corresponde a una de las más importantes. Actualmente se encuentra distribuido en los cinco continentes. Debido al interés del hombre por esta leguminosa, la selección hecha por las culturas precolombinas generó un gran número de diferentes formas y en consecuencia también de diferentes nombres comunes dentro de los que destacan los de frijol, poroto, alubia, judía, frijol, nuña, habichuela, vainita, caraota y feijao. (Ulloa, 2011).

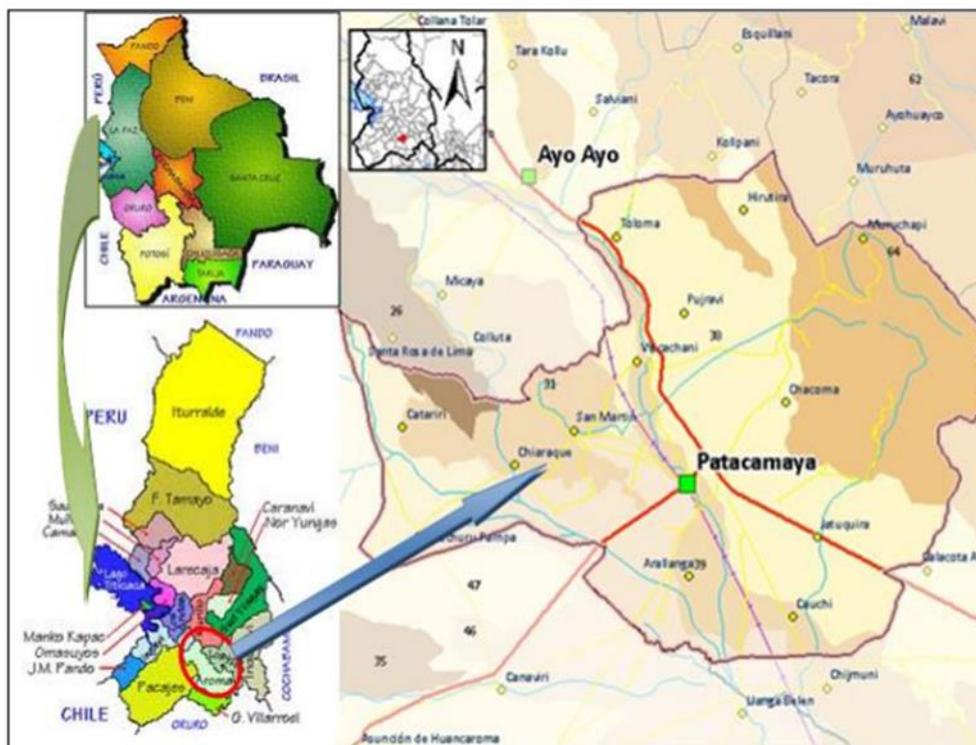
En lo que se refiere al tipo de proteína Rodríguez et al. (1979) señalan que, los dos principales constituyentes proteicos de reserva de la semilla son las globulinas y albúminas.

Por su parte Osborne (1984) en su caracterización de las proteínas de las semillas señala que 20% de su peso seco es proteína y que de esta 80% son globulinas.

## **4 LOCALIZACION**

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Patacamaya, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la UMSA, está ubicada en la carretera interdepartamental La Paz – Oruro al sud este de la capital del Departamento de La Paz a una altura promedio de 3796 msnm, en las coordenadas

67°56'38,20" Longitud Oeste y 17°15'41,15" Latitud Sur, a una distancia de 101 km desde la ciudad de La Paz. Presenta una temperatura anual de 11,2 °C con una mínima media de 0,8 °C en los meses de abril a junio y una media máxima de 17,9 °C registrada en los meses de octubre a noviembre y una precipitación de 102,2 mm promedio. (IGM, 2013).



**FIGURA 1. Ubicación de la Estación Experimental Patacamaya**

## **5 MATERIALES Y METODOS**

### **5.1 Materiales**

#### **5.1.1 Material genético**

- 6 qq de semilla de cebada.
- Extracto de auxinas de lenteja.
- Extracto de auxinas de frejol.

#### **5.1.2 Material de campo**

- Estanterías metálicas de tres pisos para pisos de producción.

- Policarbonato.
- Carpa de lona para fase oscura
- Cuaderno de campo.
- Termómetro.

### **5.1.3 Materiales y equipos de gabinete**

- Computadora portátil.
- Calculadora.
- Material de escritorio.

### **5.1.4 Insumos.**

- Tubería flexible de 16mm.
- Micro aspersores.

## **5.2 Métodos.**

### **5.2.1 Adecuación de la carpa solar.**

Las siguientes actividades se realizaron previo a dar inicio la investigación, las cuales se detallan a continuación:

#### **a) Cambio de techo.**

Se contaba con un techo de calamina plástica que ya se encontraba en un estado en el cual los silicatos con los que cuenta este material empezaban a desprenderse sobre el piso del ambiente atemperado. Para evitar los problemas en la calidad del forraje, se optó por reemplazar por un techo de policarbonato, el cual aumento, tanto, la luminosidad como la temperatura del ambiente.



**FIGURA 2. Destejado del ambiente atemperado. FIGURA 3 Colocado de policarbonato**

**b) Colocado de malla semi-sombra.**

Con el cambio de techo se evidenció el incremento de luminosidad y temperatura dentro del ambiente atemperado, para controlar estos factores, se colocó una malla semi-sombra del 50%, el cual ayudo a mantener una temperatura constante de 29°C.



**FIGURA 4. Tendido de la malla semi-sombra**

**c) Instalación del sistema de riego.**

Para realizar la instalación del sistema, primeramente, se procedió al colocado de un tanque de 300 litros en la parte posterior del ambiente atemperado para que mediante una electrobomba de 1hp sea conducida a la parte de distribución y posteriormente a los emisores, que en este caso son los micro aspersores distribuidos en el interior.



**FIGURA 5. Colocado de tanque.**



**FIGURA 6. Electrobomba de 1 hp.**



**FIGURA 7 y 8. Micro aspersores instalados dentro del ambiente atemperado.**

#### **d) Instalación del timer o temporizador para riego.**

Como parte complementaria del sistema de riego se instaló un timer, con la finalidad de automatizar el riego, debido al número de riegos que se necesita por día, para este tipo de producción de forraje.



**FIGURA 9. Timer instalado, dentro del ambiente atemperado**

### **5.2.2 Fase experimental.**

#### **5.2.2.1 Tratamiento pre germinativo**

##### **a) Limpieza de la semilla.**

Según la FAO (2001), para una buena producción del forraje verde hidropónico, se debe realizar el lavado de la misma, esto, para retirar las semillas que no sean viables y a su vez las impurezas que esta pueda tener. Para esto se sumergió la semilla en agua.



**FIGURA 10. Limpieza de impurezas de la semilla de cebada**

### **b) Desinfección de la semilla.**

La FAO, también indica que la desinfección es fundamental para este tipo de producción, debido a que nos evita la contaminación de la semilla. Este se lo realiza con una solución de hipoclorito de sodio al 1 %.



## **FIGURA 11 Y 12. Medida de hipoclorito de sodio y desinfección de semilla**

Una vez lavadas y desinfectadas las semillas, se llevó a remojo durante 12 horas, posterior se aireo por una hora y se finalizó con 12 horas más de remojo.



**FIGURA 13. Remojo de semillas**



**FIGURA 14. Aireación de semillas**

### **5.2.2.2 Ensayo en blanco.**

Para tener una buena validación del trabajo se realizaron dos ensayos en blanco, con la finalidad de hacer los ajustes necesarios del sistema, podríamos mencionar como ajustes lo siguiente:

- Uniformidad del sistema de riego.
- Cantidad de semillas por bandeja.
- Pendiente adecuada en los pisos de producción.
- Medición de caudal de los micro aspersores.

### **5.2.2.3 Procedimiento experimental.**

Para realizar los dos ensayos y trabajo de investigación final se utilizó el método de la FAO debido a que:

Según Delgado (2016), al realizar la comparación de tres metodologías de producción de forraje verde hidropónico, indica que el mejor es el planteado por la FAO.

- Selección de la semilla, para los distintos ensayos se utilizó semilla del lugar, adquirida en la feria local de la comunidad.
- La semilla se lavó y desinfecto con una solución de hipoclorito de sodio al 1% “solución de lejía”, (preparado en 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). Con el objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes. El tiempo de remojo duro por tres minutos. Finalmente, se procedió a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia.
- Remojo y germinación de las semillas. Se procedió a colocar las semillas sumergidas completamente en agua limpia por un período de 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo lo dividimos en 2 periodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas procedimos a sacarlas y orearlas durante 1 hora. Después la sumergimos nuevamente por 12 horas.
- Siembra. La dosis de semilla que se utilizó por colchón de producción fue de 1.5 kilos con 1,5 cm de altura.
- Fase oscura. Inmediatamente después de la siembra, se debe oscurecer el ambiente, esto para darle a la semilla las condiciones para la germinación. Esta se retiró seis días después cuando el brote alcanzo una altura promedio de 2cm.
- Riego de las bandejas. El riego que utilizamos fue el de micro aspersión controlado por un temporizador, donde se programó seis riegos de un minuto cada 2 horas.
- Aplicación de promotores. Los promotores se aplicaron a partir del sexto día después de la siembra (al finalizar la fase oscura). Se hizo una aplicación diaria después del último riego, esto para aprovechar de manera más óptima la solución.

- Cosecha. La primera cosecha fue realizada a los 16 días y la segunda a partir de los 31 días. Cada una de estas fechas se realizó el pesaje de los tapetes.

#### **5.2.2.4 Obtención de los promotores de crecimiento de lenteja (*Lens culinaris*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*)**

Según (CIAB, 2014) Las hormonas que se encargan del crecimiento en vegetales son las auxinas (del griego, crecer). Estas fitohormonas regulan el crecimiento de las plantas. Se las obtuvo de la siguiente manera:

- Utilizamos 1kg de lenteja (*Lens culinaris*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*) y las remojaamos durante 8 a 12 horas.
- Se hizo germinar estas semillas en bandejas hasta que alcancen 3 cm de raíz.
- Una vez que se obtuvo dicha longitud de raíz, las cortamos y licuamos para luego mezclar con 5 litros de agua y dejar en reposo por 12 horas en un lugar oscuro.
- Las colamos y añadimos el agua de remojo del primer paso
- Por ultimo adicionamos 1 litro de agua.

Se aplicó esta solución en las unidades experimentales 1 vez por día, (después del último riego) 250 ml por bandeja, durante todo el ciclo productivo.

#### **5.2.3 Diseño experimental.**

Bajo un diseño experimental de bloques al azar, se establece el trabajo de investigación, considerando para su evaluación un Análisis de Varianza que determinara la significancia o no significancia de los tratamientos empleados en la fase de toma y evaluación de datos, desde el inicio al final de la fase experimental de campo.

##### **a) Modelo Lineal aditivo**

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \omega_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = media general

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo bloque

$\phi_{ij}$  = error experimental en la unidad j del tratamiento i

### 5.2.4 Croquis experimental.

Descripción de los tratamientos:

**TABLA 3. Descripción de tratamientos.**

	EXTRACTO DE LENTEJA	EXTRACTO DE FRIJOL	TESTIGO
FVH DE CEBADA	L	F	T

**TABLA 4. Croquis experimental**

N ↑	Bloque	Tratamientos			Bloque	tratamientos		
	I	T	F	L	VII	F	L	T
II	L	T	F	VIII	T	F	L	
III	F	L	T	IX	L	T	B	
IV	L	T	F	X	T	F	L	
V	T	F	L	XI	F	L	C	
VI	F	L	T	XII	L	T	F	

## 5.2.5 Variables de respuesta.

### 5.2.5.1 Calidad de la semilla.

#### 5.2.5.1.1 Porcentaje de viabilidad

Para determinar el porcentaje de viabilidad se debe tomar cierta 100 semillas para posteriormente sumergirlas en un recipiente de agua por determinado tiempo, las posteriormente por inspección visual determinar el porcentaje de viabilidad. (Palma, 2019)

#### 5.2.5.1.2 Porcentaje de germinación.

Para determinar el porcentaje de germinación se tomó 100 semillas de cebada y se las hizo germinar en cajas petri.



**FIGURA 15** Muestra de semillas para prueba.



**FIGURA 16.** Semillas en prueba de germinación.

#### 5.2.5.1.3 Porcentaje de pureza de semilla

Para medir el grado de limpieza de la semilla, la semilla pura se separa de la impura, y luego se pesan por separado. La semilla se considera pura si aparece normal en cuanto a su tamaño, forma y aspecto general externo. Inversamente, se considera como impura la semilla que es demasiado pequeña, que ha sido parcialmente comida por los insectos o pone en evidencia manchas producidas por los hongos. Una muestra para un ensayo de pureza puede consistir de 100 a 1.000 semillas. (FAO, 1983)

Un porcentaje de pureza se calcula así:

$$\%PUREZA = \frac{\text{PESO DE SEMILLA PURA}}{\text{PESO DE SEMILLA TOTAL}} * 100$$

#### 5.2.5.1.4 Valor cultural de la semilla.

El valor cultural es un indicador de la calidad de la semilla, lo que indica es la cantidad de semilla pura viva presente, esto quiere decir, la cantidad de semilla con una alta probabilidad de germinación siempre y cuando existan las condiciones de clima y suelo ideales. El VC se calcula multiplicando el porcentaje de pureza por el porcentaje de germinación. (Palma, 2019)

$$VC = \frac{\%PUREZA * \%GERMINACION}{100}$$

#### 5.2.5.2 Altura de planta.

Se midió la altura de 12 plantas por tratamiento, desde la base hasta el ápice, expresada en centímetros, el instrumento que se empleó para la lectura fue una regla milimetrada ésta característica se evaluó hasta llegar a su mayor crecimiento.



**FIGURA 17. Medición de altura de planta**

### 5.2.5.3 Rendimiento en materia seca por tratamiento.

Se pesó 300 gramos de FVH por cada unidad experimental, para esto las muestras fueron envueltas en papel madera previamente identificados para luego ser sometidas a 105°C en la mufla durante 48 horas y posteriormente ser pesado en una balanza analítica, todo el procedimiento se realizó en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Patacamaya.

El porcentaje de materia seca se calculó mediante la siguiente formula (Cañas Aguilar, 2002).

$$\%MS = \frac{\text{PESO SECO}}{\text{PESO HUMEDO}} \times 100$$



FIGURA 18. Muestras en mufla.



FIGURA 19. Muestras secas 72 hrs después

### 5.2.5.4 Rendimiento de materia verde por tratamiento.

El rendimiento de forraje verde hidropónico se obtuvo al final de las dos cosechas una a los 15 días donde se realizó el primer corte y la segunda a los 32 días; se pesó cada unidad experimental en kilogramos utilizando una balanza electrónica.



**FIGURA 20. Pesaje de muestras**

#### **5.2.5.1 Contenido nutricional.**

Para conocer el contenido nutricional se realizó un análisis bromatológico en los laboratorios del SELADIS.

Se tomaron 500gr de muestra de toda la producción de forraje verde hidropónico de cebada para determinar los siguientes parámetros: porcentaje de proteína, cantidad de carbohidratos y valor energético.

#### **5.2.5.2 Análisis económico de la producción.**

Para esta variable se realizó un flujo de caja para cada tratamiento, con el propósito de proyectar el tiempo en el cual se recuperaría la inversión realizada para dicha producción con la aplicación de los distintitos promotores de crecimiento en el cultivo de forraje verde hidropónico de cebada en carpa solar.

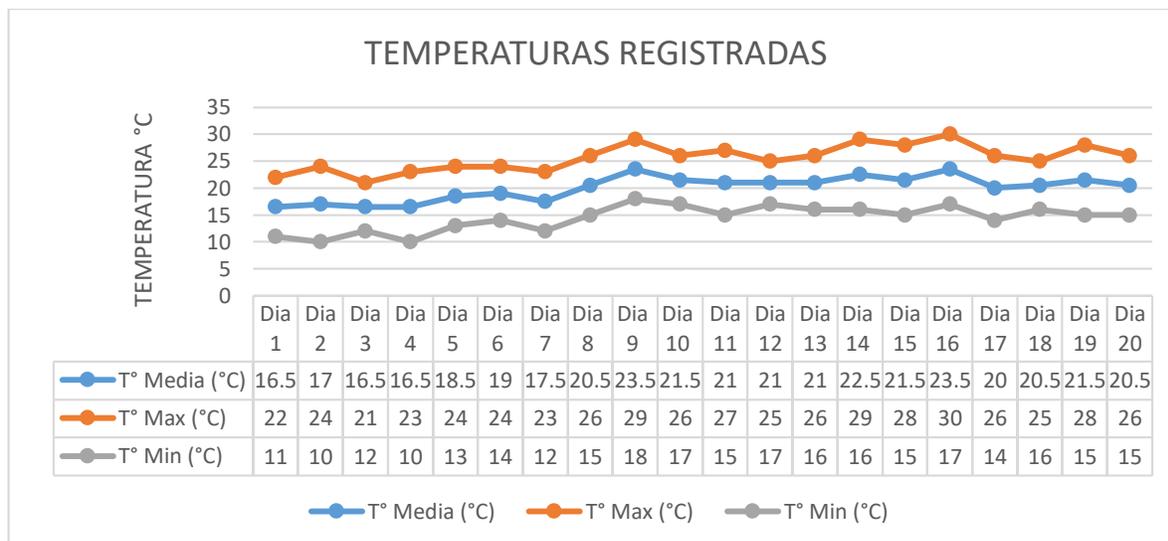
### **6 RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

De acuerdo a los resultados obtenidos y con el objeto de mostrar el efecto de la aplicación de promotores naturales de crecimiento a base de lenteja y frejol en el forraje verde hidropónico de cebada, se abordaron primero los factores que influyen en la producción, para luego determinar el rendimiento por superficie, el valor

nutritivo, así como el índice de producción de forraje por unidad de semilla y cuantificar los costos de producción.

### 6.1 Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo.

Durante el primer periodo de producción que fue del 3 al 23 de abril de 2019 se registró con ayuda de un termómetro digital las siguientes fluctuaciones de temperatura:



**FIGURA 21. Temperaturas registradas durante el estudio.**

En el grafico se muestra el mínimo extremo que fue de 10 °C la cual fue registrada durante la fase oscura del trabajo de investigación, la misma no afecto en la germinación de las semillas.

La máxima registrada fue de 30 °C dando una temperatura media de 20 °C que se encuentra dentro de los rangos establecidos para una buena producción de forraje verde hidropónico.

Martínez, (2001) cita que la temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, el rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18°C a 26°C. Es así que los granos de avena, cebada y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar, él rango de ellos oscila entre los 18°C a 21°C.

Para la segunda parte de la investigación (después del primer corte) no se registró cambios de gran consideración en las fluctuaciones de temperatura.

## 6.2 Calidad de la semilla.

Las pruebas de calidad de la semilla utilizada indican que se tiene una viabilidad del 95%, 90% de germinación y 90% de pureza física, con un valor cultural de 81%, lo que significa que de cada 100 kg de semilla 81 kg es material vegetativo, según Sanchez, (2004) y Gallardo, (1997) el porcentaje de germinación 90 % está dentro del rango aceptable para su uso en la producción de forraje hidropónico, que es mayor a 80 % que indicaría el mínimo aceptable.

CASAS, (2008) dice que, ante todo se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos. El mismo autor indica que la humedad de la semilla debe estar en un 12% y debe haber tenido un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica.

## 6.3 Altura de planta.

La tabla 5 muestra el análisis de varianza para la variable altura de planta, donde se puede observar una respuesta altamente significativa siendo el p-valor menor a 0.01, lo que nos indica que al bloquear la temperatura afecto en la homogeneidad de la variable altura de planta.

**TABLA 5. Análisis de varianza para la variable altura de planta**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo.</b>	143.29	13	11	28	<0.0001
<b>Bloque</b>	17.14	11	2	4	0.0027
<b>Tratamiento</b>	126.15	2	63	162	<0.0001
<b>Error</b>	8.57	22	0		
<b>Total</b>	151.86	35			

CV= 3.72

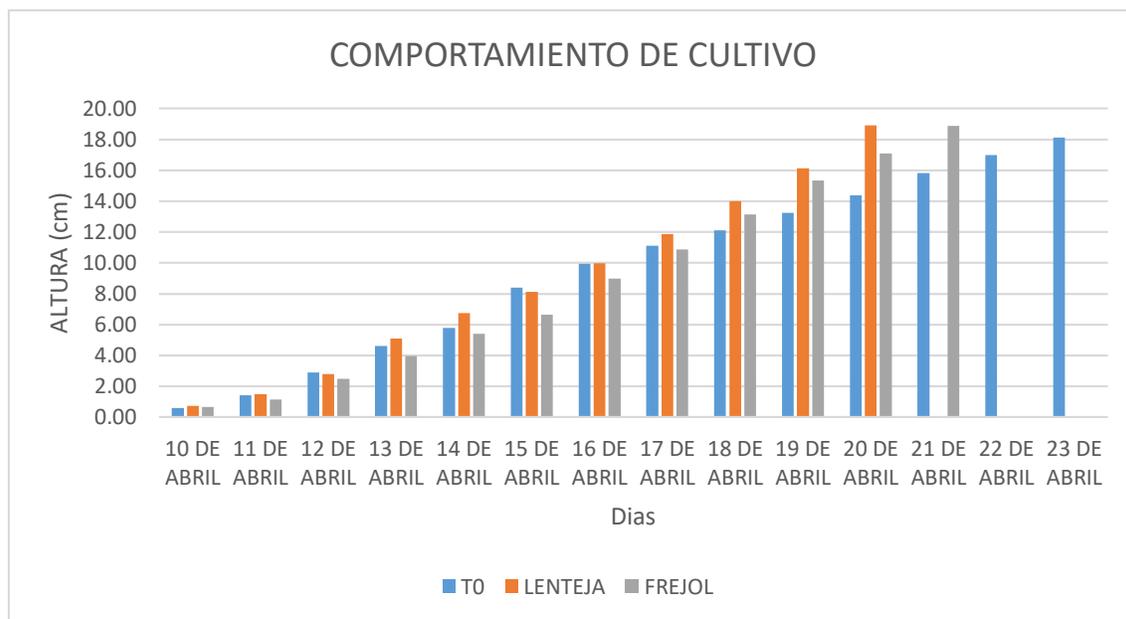
Fuente: elaboración propia/infostat

El coeficiente de variabilidad de 3.72, nos indica la confiabilidad de los datos obtenidos en campo.

**TABLA 6. Test de Duncan para altura de planta.**

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
LENTEJA	18.92	12	0.18	A		
FREJOL	17.1	12	0.18		B	
TESTIGO	14.37	12	0.18			C

Al ser los tratamientos altamente significativos (\*\*) se realizó la prueba de Duncan a un nivel de alfa de 0.05, la cual nos indica la diferencia entre los distintos tratamientos. La tabla 6 nos muestra las alturas promedio del forraje, donde se muestra al T1 (promotor a base de lenteja) con la mayor altura promedio de 18.92 cm, seguido por el T2 (promotor a base de frejol) con una altura promedio de 17.1 cm y por último se tiene al testigo con una altura promedio de 14.37cm.



**FIGURA 23. Comportamiento del cultivo en relación a la variable altura de planta**

La figura 23 nos muestra la curva de crecimiento del cultivo, mostrando al T1 (promotor de lenteja) estar disponible para su cosecha a los 1 días, seguido por el T2 (promotor a base de frejol) con 12 días y por último el testigo que estuvo disponible a los 14 días.

Luna, (2013) muestra los siguientes resultados con relación a la altura de planta en la cebada hidropónica ha mostrado diferencias entre los métodos empleados, con el M. tarrillo alcanzo 23,83 cm a diferencia de los métodos, de la FAO 22,15 cm y de la Molina 21,58 cm esto de acuerdo a la prueba de Duncan.

Esta diferencia probablemente se deba a la diferencia de condiciones entre ambas investigaciones, también se puede atribuir a la relación crecimiento – días y calidad de semilla.

Gallardo (2005), en el estudio realizado en la producción de forraje hidropónico (cebada) con la aplicación de sustancias nutritivas en ambiente controlado HUTAYAPU obtuvo un valor en altura de 13.5 cm en 15 días, estos resultados no son similares a lo que se obtuvo en el presente estudio podemos indicar que probablemente lo que influyó con la altura de planta fue la densidad de siembra, esto presume que a medida que se incrementa la densidad de siembra, disminuye la altura debido a un proceso de competencia por luz entre las plantas.

En nuestro trabajo de investigación se usó una densidad de semilla de 1 kg/bandeja, la cual pudo haber influido en el desarrollo de la planta evitando la competencia por luz

En general, las alturas de plantas registradas en el ensayo fueron comparativamente iguales a lo descrito por la FAO (2001), que sugirió que el FVH es un suculento alimento de aproximadamente 20 – 30 cm. en condiciones de invernadero (18 – 26°C y 90% HR).

**TABLA 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta después del primer corte**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo.</b>	578.07	13	44	162	<0.0001
<b>Bloque</b>	4.2	11	0	1	0.2438
<b>Tratamiento</b>	573.87	2	287	1047	<0.0001
<b>Error</b>	6.03	22	0		
<b>Total</b>	584.1	35			

CV= 3.65

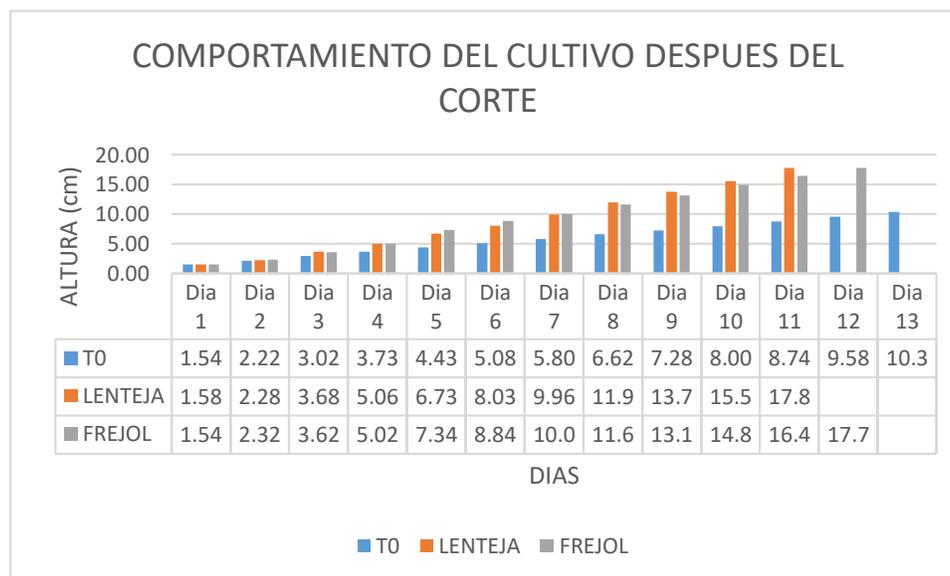
La tabla 7 muestra el análisis de varianza para la variable altura de planta después de realizado el primer corte, donde se puede observar una respuesta no significativa siendo el p-valor mayor a 0.05, lo que nos indica que al bloquear la temperatura no afecto en la homogeneidad de la variable altura de planta después del corte.

El coeficiente de variabilidad que tiene el valor de 3.65 nos indica la confiabilidad de los datos registrados.

**TABLA 8. Test de Duncan altura de planta después al primer corte.**

Tratamiento	Medias	N	E.E.			
<b>LENTEJA</b>	17.81	12	0.15	A		
<b>FREJOL</b>	16.45	12	0.15		B	
<b>TESTIGO</b>	8.74	12	0.15			C

La tabla 8 nos detalla la diferencia que existe entre los tratamientos con relaciona la variable altura de planta, donde, el T1 (promotor a base de lenteja) con una altura media de 17.81 cm. Seguido por el T2 (promotor a base de frejol) con una altura media de 16.45 cm. Y por último el testigo con una altura media de 8.74 cm.



**FIGURA 24. Comportamiento del cultivo en relación a la variable altura de planta después del primer corte.**

La figura 25 nos muestra el crecimiento que tuvo el cultivo después del primer corte, como se puede observar hubo un descenso en comparación de la primera medición de alturas, se observa al T1 con una altura promedio de 17.8 cm al día 11 posterior al corte, el T2 presenta una altura de 16.4 cm seguido por el testigo que tiene una altura de 8.74 cm.

Debido a que las auxinas influyen tanto la división, como el crecimiento y diferenciación celular, están involucradas en muchos procesos del desarrollo, en algunos de ellos interactuando con otras fitohormonas. (JENIK., 2005)

Según, Ralde, (2000) encontró la regresión lineal de altura de planta en función de los días de desarrollo altamente significativo, con una tendencia de crecimiento de 1.1 cm por cada día, similares a los encontrados en el presente trabajo.

Cabe resaltar que cada tratamiento tiene una cantidad de ciclos de producción anual diferente, esto debido al desarrollo del cultivo en función a cada tratamiento, siendo el T1 el que presenta 13 ciclos de producción en un año, seguido por el T2 que presenta 12 ciclos de producción anual y por último el testigo con 11 ciclos de producción al año.

Según Valdez, (2019), asegura que una producción de forraje verde hidropónico con las óptimas condiciones están disponibles para su consumo a partir de los 15 días, con una altura promedio de 19 cm, los resultados obtenidos en esta investigación se acercan bastante a los descritos por el autor de la cita mencionada anteriormente.

#### **6.4 Rendimiento en materia seca por tratamiento.**

En la tabla 7 se observa los resultados del análisis de varianza efectuado para la variable materia seca, el cual indica que no existe significancia en relación al bloqueo efectuado, lo que nos dice que la temperatura no afectó al rendimiento de materia seca de los distintos tratamientos.

**TABLA 9. Análisis de varianza para rendimiento de materia seca**

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	242.25	13	19	180	<0.0001
<b>BLOQUE</b>	1.87	11	0	2	0.1530
<b>TRATAMIENTO</b>	240.37	2	120	1164	<0.0001
<b>Error</b>	2.27	22	0		
<b>Total</b>	244.52	35			

CV = 2.07

Por otro lado, el coeficiente de variabilidad nos indica que los datos tomados en campo son confiables.

**TABLA 10. Prueba de Duncan para contenido de materia seca.**

Tratamiento	Medias	N	E.E.			
<b>LENTEJA</b>	19.06	12	0.09	A		
<b>FREJOL</b>	14.53	12	0.09		B	
<b>TESTIGO</b>	12.97	12	0.09			C

La tabla 10 nos muestra la diferencia estadística que existe entre los tratamientos con relación al rendimiento a materia seca, siendo el más alto el T1 (promotor a base de lenteja) con un porcentaje de 19.06% de materia seca.

Salas, (2010) reportaron un incremento de la MS al aumentar los días a cosecha de FVH, aunque la MS también aumenta al incrementar la aplicación de N (Dumont *et al.*, 2005).

Esto concuerda con Teixeira, (2009), quien concluyó que, con la edad o el estado de madurez de la planta, se incrementan la MS, esto va en contraste a los resultados obtenidos en la investigación, lo cual podría atribuirse a que en dichos autores realizaron la determinación de materia seca solo de la parte foliar y no así de la parte radicular.

Al respecto Dosal (2000), indica que no es conveniente prolongar el periodo de cultivo por la pérdida de fitomasa aunque se recurra a prácticas de fertilización.

## 6.5 Rendimiento en materia verde.

De acuerdo al análisis de varianza realizado para el rendimiento de materia verde se puede observar que al bloquear la temperatura no influyo en la ganancia de biomasa durante todo el periodo de estudio, por otro lado, el coeficiente de variabilidad nos indica la confiabilidad de los datos obtenidos en campo.

**TABLA 11. Análisis de varianza para el rendimiento de materia verde**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	30.37	13	2	31	<0.0001
BLOQUE	0.92	11	0	1	0.4043
TRATAMIENTO	29.44	2	15	193	<0.0001
Error	1.67	22	0		
Total	32.04	35			

CV=5.33

**TABLA 12. Prueba de Duncan para rendimiento en materia verde.**

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.			
LENTEJA	6.18	12	0.08	A		
FREJOL	5.35	12	0.08		B	
TESTIGO	3.99	12	0.08			C

La tabla 12 muestra la prueba de media Duncan, donde podemos observar las diferencias estadísticas entro todos los tratamientos, el mayor peso obtenido fue el del T1 (promotor a base de lenteja) con una media de 6.18 kg, el segundo fue el T2(promotor a base de frejol) con un peso de 5.35 kg, por último, se muestra al testigo con un peso de 3.99 kg.

Para determinar el rendimiento llevamos los datos a la unidad de peso(kg)/área(m<sup>2</sup>).

**TABLA 13. Rendimientos por metro cuadrado**

<b>RENDIMIENTOS POR M2</b>	
<b>Testigo</b>	22.08 kg.
<b>Lenteja</b>	37.32 kg.
<b>Frejol</b>	32.30 kg

La tabla 13 nos muestra los rendimientos por metro cuadrado durante un ciclo productivo el cual comprende el primer corte y la cosecha final.

ROJAS, (2009) muestra un rendimiento promedio de forraje hidropónico de cebada en materia verde, obtenido durante su periodo de estudio (16.15 Kg / m<sup>2</sup>, S2 y 14.96 Kg/m<sup>2</sup>, S1) a los 11 días de cultivo (excluyendo la fase oscura), son próximos a los valores reportados por otros investigadores como, Gallardo (1997) con 10 Kg/ m<sup>2</sup>, a los 20 días y Sánchez (2004) reporta 18 Kg/ m<sup>2</sup>, a los 15 días de cultivo.

Los valores obtenidos por la presente investigación están por encima de los valores reportados por otros autores, esto debido a que el ciclo de producción se hizo en dos etapas, las cuales son: el primer corte en la cual se obtuvo un promedio de 9.17 kg/m<sup>2</sup> y la cosecha final obteniendo en promedio 21.39 kg/m<sup>2</sup>, dando un periodo de producción promedio de 31 días con los rendimientos detallados en la tabla 13.

#### **6.6 Contenido nutricional del forraje verde hidropónico.**

Desde el punto de vista bromatológico el forraje hidropónico de cebada producido durante el periodo de estudio tiene las siguientes características nutritivas, los resultados del análisis proximal se detallan en la siguiente tabla:

**TABLA 14. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico.**

<b>ANÁLISIS BROMATOLÓGICO PRIMER CORTE</b>	
<b>Nutriente analizado</b>	
Fibra (%)	29.75
Proteínas (%)	16.13
Carbohidratos (%)	19.56
Valor energético (Kcal)	239.20

La tabla 14 nos muestra los valores obtenidos del análisis bromatológico realizado en el Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnóstico e Investigación en Salud (SELADIS).

**TABLA 15. Valor nutritivo del forraje verde hidropónico en la cosecha final.**

<b>ANÁLISIS BROMATOLÓGICO COSECHA FINAL</b>	
<b>Nutriente analizado</b>	
Fibra (%)	51.81
Proteínas (%)	19.50
Carbohidratos (%)	25.31
Valor energético (Kcal)	299.70

La tabla 15 nos muestra los resultados del análisis bromatológico en la cosecha final, realizado en el Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnóstico e Investigación en Salud (SELADIS).

Como se puede observar existe un incremento en los valores nutricionales en la cosecha final, esto puede atribuirse que en el primer corte las muestras enviadas eran netamente de materia verde (debido al corte) lo cual no sucedió en la muestra final ya que en esta se envió tanto la materia verde incluido el colchón que comprendió nuestro forraje.

Los resultados del presente trabajo de investigación son similares a los reportes de Herrera, (2010), con una concentración de proteína cruda para el trigo a los 10 días de cosecha alcanzo (21,5%), cual coincide con los resultados descritos por Müller,

(2006) en FVH de cebada producido aplicando solución nutritiva y obteniendo un nivel en proteína de (24,9%) en verano por un tiempo de 19 días. Por su parte, Carballido (2000) indica concentraciones menores (18,4%) en FVH de maíz.

La digestibilidad de la proteína depende de diferentes factores uno de ellos es la proteína animal y vegetal que tiende a ser menos digerible por el estómago que usualmente dificulta su relativa incapacidad de tratar las paredes celulares fibrosas que encierran la proteína, Castañón, (2005), por eso el FVH en estado muy tierno (16 días) es más digerible (su proteína), por qué no presenta aun sus paredes fibrosas. Este valor concuerda con lo mencionado por Alcázar, (2002), quien reporta que la proteína se hidroliza en el rumen y los aminoácidos cuando el forraje es más tierno, luego son absorbidos y transportados por la vena porta que transporta al hígado donde se envían a las células que requieren aminoácidos.

#### **6.7 Análisis económico.**

La presentación del análisis económico del presente trabajo de investigación, se efectuó sobre la base de los presupuestos parciales y beneficios netos, los gastos de producción son calculados para una superficie en estudio, en base a los datos obtenidos en el ensayo.

Los precios de venta son considerados de acuerdo al mercado de la Ciudad de La Paz, los rendimientos, costos variables y beneficios netos se desglosan para cada tratamiento, donde se muestran cuál de los tratamientos presenta más altos beneficios para que el agricultor pueda recibir ingresos y adoptar una de las alternativas propuestas.

**TABLA 16. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico con la aplicación del promotor de crecimiento a base de lenteja (T1)**

CONCEPTO	CICLO PROD 1	CICLO PROD 2	CICLO PROD 3	CICLO PROD 4	CICLO PROD 5	CICLO PROD 6	CICLO PROD 7	CICLO PROD 8	CICLO PROD 9	CICLO PROD 10	CICLO PROD 11	CICLO PROD 12	CICLO PROD 13
<b>I. INGRESOS</b>													
VENTA DE FORRAJE (Kg)	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6	222.6
PRECIO (Bs)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>1113.14</b>												
<b>II. EGRESOS</b>													
INFRAESTRUCTURA	1609												
BANDEJAS	720												
KIT DE RIEGO	1880												
TEMPORIZADOR	500												
SERVICIOS BASICOS	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
SEMILLA	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
LENTEJA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>5029</b>	<b>320</b>											
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	-3915.9	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135	793.135
FLUJO ACUMULADO	-3915.9	-3122.7	-2329.6	-1536.5	-743.32	49.81	842.945	1636.08	2429.22	3222.35	4015.49	4808.62	5601.76

La tabla 16 detalla toda la inversión realizada para la presente investigación, también nos muestra una proyección para ver el tiempo estimado en la que se recupera el capital invertido, la cual se realiza a partir del sexto ciclo de producción.

El presente flujo de caja se realizó para una producción netamente de forraje hidropónico con la aplicación del promotor de crecimiento a base de lenteja (T1) en base a una proyección del rendimiento promedio obtenida en este trabajo de investigación.

**TABLA 17. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico con la aplicación del promotor de crecimiento a base de frejol (T2)**

CONCEPTO	CICLO PROD 1	CICLO PROD 2	CICLO PROD 3	CICLO PROD 4	CICLO PROD 5	CICLO PROD 6	CICLO PROD 7	CICLO PROD 8	CICLO PROD 9	CICLO PROD 10	CICLO PROD 11	CICLO PROD 12
<b>I. INGRESOS</b>												
VENTA DE FORRAJE	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76	192.76
PRECIO	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>	<b>963.81</b>
<b>II. EGRESOS</b>												
INFRAESTRUCTURA	1609											
BANDEJAS	720											
KIT DE RIEGO	1880											
TEMPORIZADOR	500											
SERVICIOS BASICOS	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
SEMILLA	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
LENTEJA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>5029</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	-4065.2	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81	643.81
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-4065.2</b>	<b>-3421.4</b>	<b>-2777.6</b>	<b>-2133.8</b>	<b>-1490</b>	<b>-846.14</b>	<b>-202.33</b>	<b>441.48</b>	1085.29	1729.1	2372.91	3016.72

En la tabla 17 podemos observar el flujo de caja realizado para la producción de forraje verde hidropónico con la aplicación del promotor a base de frejol(T2), el cual nos proyecta recuperar la inversión realizada a partir del octavo ciclo de producción.

**TABLA 18. Flujo de caja para la producción de forraje verde hidropónico del tratamiento testigo (T0)**

CONCEPTO	CICLO PROD 1	CICLO PROD 2	CICLO PROD 3	CICLO PROD 4	CICLO PROD 5	CICLO PROD 6	CICLO PROD 7	CICLO PROD 8	CICLO PROD 9	CICLO PROD 10	CICLO PROD 11	CICLO PROD 12	CICLO PROD 13	CICLO PROD 14
<b>I. INGRESOS</b>														
VENTA DE FORRAJE	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66	143.66
PRECIO	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>	<b>718.28</b>						
<b>II. EGRESOS</b>														
INFRAESTRUCTURA	1609													
BANDEJAS	720													
KIT DE RIEGO	1880													
TEMPORIZADOR	500													
SERVICIOS BASICOS	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
SEMILLA	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
LENTEJA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>5029</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>	<b>320</b>
FLUJO DE CAJA ECONOMICO	-4310.7	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275	398.275
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-4310.7</b>	<b>-3912.5</b>	<b>-3514.2</b>	<b>-3115.9</b>	<b>-2717.6</b>	<b>-2319.4</b>	<b>-1921.1</b>	-1522.8	-1124.5	-726.25	-327.97	<b>70.3</b>	468.575	866.85

En la tabla 18 podemos observar el flujo de caja realizado para la producción de forraje verde hidropónico de nuestro testigo(T0), el cual nos proyecta recuperar la inversión realizada a partir del doceavo ciclo de producción, el cual sería al segundo de producción.

## **7 Conclusiones.**

De acuerdo a los datos obtenidos en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

- Para este trabajo de investigación se optó por adquirir semilla de la feria local, esto con el propósito de que los resultados puedan ser compartidos con las comunidades aledañas a la Estación Experimental Patacamaya, los resultados obtenidos por las pruebas de calidad de semilla son las siguientes: 95% de viabilidad, 90% de germinación, 90% de pureza física y 81% de valor cultural, lo que nos indica que dicha semilla está dentro de los rangos permitidos para una buena producción de forraje verde hidropónico.
- De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que la altura de planta en la cebada hidropónica ha mostrado diferencias entre los distintitos tratamientos aplicados, con mejor respuesta el T1 (promotor a base de lenteja) con una altura promedio de 18.92 cm a los 17 días de producción de acuerdo a la prueba de media de Duncan.
- La prueba de Duncan para la altura de planta después del primer corte mostro diferencias entre los tratamientos, donde, el T1 alcanzó una altura promedio de 17.81 cm a los 11 días después de realizado el corte.
- El análisis estadístico nos muestra la diferencia existente entre los tratamientos con relaciona al rendimiento en materia seca, siendo el más alto el T1 (promotor a base de lenteja) con un porcentaje de 19.06% de materia seca.

- La prueba de media Duncan, indica que existe diferencias estadísticas entre todos los tratamientos con relación al rendimiento de materia verde, el mayor peso obtenido fue el del T1 (promotor a base de lenteja) con una media de 6.18 kg/0.116 m<sup>2</sup>, el segundo fue el T2 (promotor a base de frejol) con un peso de 5.35 kg/0.116 m<sup>2</sup>, por último, se muestra al testigo con un peso de 3.99 kg/0.116 m<sup>2</sup>.
- Al momento de realizar el primer corte el forraje presento los siguientes valores nutricionales: 16.13% de proteína, energía 239.20 Kcal/gr, 16.56 de carbohidratos, lo que indica que puede ser utilizado como alimento suplementario del ganado.
- Por su contenido en proteína 19.50 %, energía 299.7 Kcal/gr, 25.3% de carbohidratos, el forraje hidropónico de Cebada es un alimento nutritivo y succulento de calidad, cabe recalcar que estos datos son obtenidos en la cosecha final (después de realizado el primer corte).
- Los flujos de caja nos indican que realizando que aplicando el tratamiento 1 se recuperaría la inversión al sexto ciclo de producción, aplicando el tratamiento 2 se recuperaría la inversión a octavo ciclo de producción y con el testigo se estaría recuperando la inversión al doceavo ciclo de producción.
- Por lo que se concluye que la aplicación del promotor de crecimiento a base de lenteja (T1), reduce el tiempo de producción a 17 días de los 20 que actualmente se tiene registro según resultados reportados por otros autores, también aumenta la eficiencia del espacio reducido en el que se realiza este tipo de producción ya que permite mayor cantidad de ciclos productivos a largo plazo.

## 8 Recomendaciones.

- Se recomienda usar la semilla de lugar, debido a que su rendimiento está dentro de los parámetros de buena producción, además que la semilla está disponible para los productores de la zona.
- Se recomienda realizar un análisis de laboratorio a las soluciones de lenteja y frejol, que nos permita conocer los beneficios que aportan al desarrollo del cultivo
- Con los resultados obtenidos se recomienda la aplicación del promotor de crecimiento a base de lenteja, ya que demostró acelerar la producción mostrando un total de trece ciclos productivos por año con un rendimiento de 6.18 kg/0.116 m<sup>2</sup>, en comparación al testigo que presento once ciclos productivos con un rendimiento de 3.99 kg/0.116 m<sup>2</sup>.
- Se recomienda hacer la evaluación del contenido nutricional del forraje verde hidropónico por tratamiento, para observar si existen diferencias en dichos valores.
- Se recomienda contar con un excelente drenaje de las bandejas, esto para evitar la proliferación de hongos en las raíces del forraje debido a que las altas temperaturas y un mal drenaje son aptos para la proliferación de los mismos. En caso de presentarse dicho problema se debe aplicar un fungicida orgánico, esto para evitar algún daño en los animales.

## 9 Bibliografía

- A., C. R. (2005). Apuntes de Nutrición Animal, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía Impreso en Bolivia.
- AQUINO, E. (2010). Producción, manejo y uso de forraje verde Hidropónico para zonas de Altura. La Paz-Bolivia. Impresiones SIRCA. 80 p.
- ARUQUIPA, C. (2008). Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo dos sustratos (sólidos y líquidos) en el municipio de El Alto Tesis de Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. Pp. 80.
- Azcon-Bieto, J and Talón, M. (2000). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mc Graw Hill Interamericana, Madrid.
- BIDWELL, R. G. (1993). Fisiología Vegetal. Editorial AGT. Mexico D.F. Mexico. .
- BOADA, S. B. (1998). Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Pecuaria. Ed. Universitaria. Habana, Cuba. Tomo 1.
- BOADA, S. B. (1998). Nutrición y Alimentación Animal. Facultad de Pecuaria. Ed. Universitaria. Habana, Cuba. Tomo 1. pp 427. .
- BRAVO, M. R. (2010). Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile. Pp. 35.
- CALDERON, G. (2001). Historia de la Hidroponía y de la Nutrición Vegetal (en línea).. Bogotá, Col. Consultado 20 de jun. 2007. Disponible en: <http://www.drcalderonlabs.com/index.html>. .
- CASAS, C. (2008). Efecto de la utilización del forraje verde hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- CIAB. (2014). Obtencion de auxinas naturales.
- COHEN., L.-M. (2002). Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*.
- COHEN., L.-M. J. (s.f.). }}2002. Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum* .
- CORONA, L. (2011). Producción de forraje verde una alternativa nutricional para la época de sequía Puebla México. P. 30. Consultado el 06 de julio de 2016. Disponible en: [www.cosechandonatural.com.mx](http://www.cosechandonatural.com.mx) .
- DELGADO, A. (2016). Producción de avena (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la Ciudad de El Alto.

- DELGADO, J. (2016). PRODUCCION DE AVENA (Avena sativa) COMO FORRAJE VERDE .
- DEVLIN, R. (1983). Fisiología Vegetal. Ediciones Omega S. A. Casanova 220. Barcelona.
- DHARMASIRI., N. S. (2005). El desarrollo de la planta es regulado por una familia de receptores de auxinas. .
- DOSAL, J. (2000). Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de Avena producido bajo condiciones de hidroponía. Ed. Universidad de Concepción. Chile.
- DUMONT, J. C. (2005). Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. Agric. Téc. (Chile). 65: 388-396.
- DURAN, F. (2009). Cultivo de pastos y forrajes: silvopastoriles – forraje verde hidropónico. Granja integral. 1ra edición. Grupo latino editores. Colombia.
- DURAN, F. (2009). Cultivo de pastos y forrajes: silvopastoriles – forraje verde hidropónico. Granja integral. 1ra edición. Grupo latino editores. Colombia. .
- ENRAIZAMIENTO, H. D. (20 de 02 de 2019). infojardin.com.
- ESMON., C. U. (2005). Plant tropisms: providing the power of movement to a sessile organism. .
- FAO. (1983). Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas.
- FAO. (2001). Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico. Santiago - Chile. 68 p.
- FAO. (2007). Valor nutritivo de los alimentos. (en línea).México. Me. Consultado 4 de jul. 2007. Disponible en: [www.rlc.fao.org/pubs](http://www.rlc.fao.org/pubs) .
- GALLARDO, G. (1997). Producción de Forraje Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) en Ambiente Controlado con tres Soluciones Nutritivas en dos Concentraciones. Tesis en Agronomía. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. pp, 115. .
- HAGER, A. (2003). Papel de la membrana plasmática H<sup>+</sup>-ATP en el crecimiento de la elongación inducida por auxina: aspectos históricos y nuevos, Revista de investigación de plantas.
- Herrera, T. E. (2010). Efecto del Tiempo de Cosecha Sobre el Valor Proteico y Energético del Forraje Verde Hidropónico de Trigo. Tesis de Maestría Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), México. .

- HIDALGO, L. M. (1985). Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía; Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Universidad de Concepción. Chile.
- IZQUIERDO, J. (2001). El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios, Consultado el 30 de octl. 2018 Disponible en:  
[http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Forraje\\_Verde\\_Hidroponico/introduccion.html](http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Forraje_Verde_Hidroponico/introduccion.html).
- JENIK., M. B. (2005). Surge and destroy: the role of auxin in plant embryogenesis.
- Lilia Salas Pérez, e. a. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica.
- M., R. (2000). Producción de avena forrajera (*Avena sativa*) en cultivo hidropónico con cuatro densidades de siembra y tres frecuencias de riego. .
- Martínez, E. (2001). Producción de cultivos hidropónicos Populares. Editorial, Mangutano. Maldonado-Uruguá.
- MAZUELOS, C. V. (2000). Utilización de los germinados de cebada y de maíz en la alimentación de cuyes hembras de reemplazo durante el empaque, gestación y lactación”. Tesis de grado de Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Per.
- Müller L, M. P. (2006). Efecto de Soluções Nutritivas na Produção e Qualidade Nutricional da Forragem Hidropônica de Trigo (*Triticum aestivum* L). Zootec. Trop. Pp. 24: 137 - .
- P., A. (2002). “Bases para la Alimentación Animal y la Formulación Manual de Raciones” La Paz, Bolivia,.
- PABLO, R. L. (2013). RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) FORRAJERA VERDE EN RELACIÓN A TRES MÉTODOS DE PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA ESTÁNDAR .
- Palma, M. V. (11 de 12 de 2019). INTA. Obtenido de [www.inta-platicar.go.cr](http://www.inta-platicar.go.cr)
- Quispe. (2013). Rendimiento de cebada y avena como forraje verde hidropónico en relación a la densidad de siembra en carpa solar. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. Tesis de Grado. La Paz. Bolivia. p, 67.
- QUISPE, H. (2013). Rendimiento de cebada y avena como forraje verde hidropónico en relación a la densidad de siembra en carpa solar. La Paz – Bolivia 6 – 28 p.

- RODRIGUEZ, A. (2001). Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
- RODRÍGUEZ, A. C. (2004). Manual práctico de hidroponía. Mekanobooks. E. I. R. L. La Molina. Lima, Perú. pp. 96. .
- ROJAS, M. R. (2009). PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) BAJO SISTEMA HIDROPÓNICO, EN CUATRO SOLUCIONES NUTRITIVAS.
- SALISBURY, F. y. (1994). Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. Trad- del Ingles Virgilio Gonzales V. México D.F. .
- SALISBURY., F. y. (1994). Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. Trad- del Ingles Virgilio Gonzales V. México D.F. .
- SANCHEZ. (2005). Forraje Verde Hidropónico. Ed. Oficina Regional de la FAO Para América Latina y el Caribe Santiago, Chile.
- SÁNCHEZ, C. R. (2004). Hidroponía; Paso a Paso-Cultivo sin tierra. Ed. RIPALME Lima, Perú.
- SÁNCHEZ, C. R. (2004). Hidroponía; Paso a Paso-Cultivo sin tierra. Ed. RIPALME Lima, Perú. pp 16,17, 4.
- SANCHEZ., E. (2009). Reguladores de crecimiento empleados en la floricultura. Artículo científico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. Pp. 10.
- SEPÚLVEDA, R. (2003). Notas Sobre Producción de Forraje Hidropónico. Santiago, Chile.
- STEAD, V. D. (1997). Abscisión de flores y partes florales. Revista botanica experimental.
- TARRILLO, H. (2005). Manual de Producción de Forraje Verde Hidropónico. Segunda Edición. Ed.Forraje Hidropónico E.I.R.L. Perú.
- Teixeira, V. C. (2009). Producao do materia seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigacao e edubacao nitrogenada. .
- THIMANN., K. (1977). Hormone action in the whole life of plants. Amherst: University of Massachusetts.
- Ulloa Jose Armando, J. C. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional. Centro de tecnologia de alimentos. Universidad Autonoma de Nayarit.
- VALDEZ, I. R. (2019). PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO, MEXICO-MONTERREY .

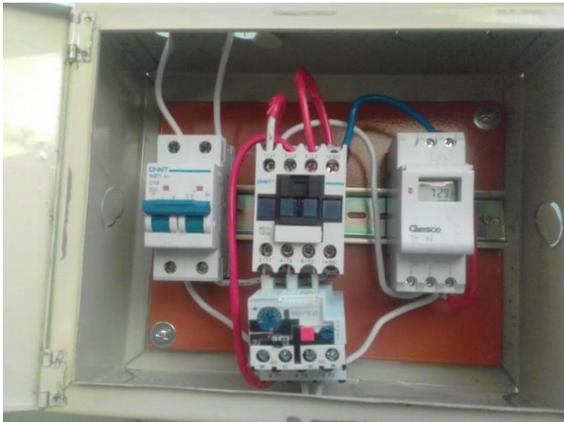
# ANEXOS



Refacción y techado del módulo de producción de forraje verde hidropónico.



Instalación de tanque y electrobomba para el sistema de riego.



Timer para la programación de los riegos diarios



Micro aspersor de baja presión utilizado en el sistema de riego.



Instalación del sistema de riego



Limpieza, remojo y aireo de la semilla (tratamiento pre germinativo)



Siembra en los pisos de producción, cuidando la asepsia del manipuleo para evitar posible proliferación de hongos.



Inicio de fase oscura y programación del riego automatizado



Germinación de la cebada



Desarrollo del FVH y primer corte



Comparación de alturas de los tratamientos



Pesaje de las muestras de forraje verde hidropónico



Traslado del alimento para el ganado de la Estación Experimental Patacamaya



Alimentación del ganado con el FVH producido



Obtención de las auxinas del frejol y lenteja